

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 801 996

②1 N° d'enregistrement national : **99 15507**

⑤1 Int Cl⁷ : G 06 F 19/00

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 07.12.99.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 08.06.01 Bulletin 01/23.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE
— FR.

⑦2 Inventeur(s) : PEYSSON YANNICK et KING ISA-
BELLE.

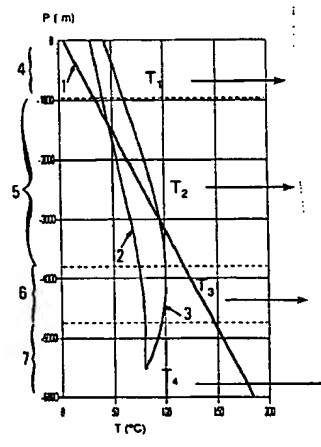
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) :

⑤4 METHODE ET SYSTEME POUR LE CALCUL DE PERTES DE CHARGE PRENANT EN COMPTE LES EFFETS
THERMIQUES.

⑤7 La présente invention concerne une méthode de cal-
cul des pertes de charge créées par un fluide donné dans
un circuit ayant un profil thermique déterminé. On effectue
les étapes suivantes:

- on constitue une base de données (BD) donnant la
rhéologie de différents fluides au moins en fonction de la
température,
- on segmente le profil thermique (2, 3) en tronçons (4,
5, 6, 7) et on détermine une valeur de la température repré-
sentative (T₁, T₂, T₃, T₄) pour le fluide dans chaque tron-
çon,
- on utilise la base de données pour déterminer la rhéo-
logie du fluide dans chaque tronçon à la température repré-
sentative,
- on calcule et on additionne les pertes de charge dans
chaque tronçon compte tenu de la rhéologie déterminée.



FR 2 801 996 - A1



La présente invention concerne une méthode et un système pour
5 calculer les pertes de charge dans un circuit en prenant en compte les
effets thermiques le long du circuit.

On connaît par le document US-5850621 une méthode
informatique qui permet de calculer les pertes de charge dans les
différentes parties d'un circuit, par exemple, constitué par : un puits foré
10 dans le sol, l'espace intérieur de tiges de forage ou de tubes dans le puits,
l'espace annulaire entre ces tiges ou tubes et la paroi du puits. Dans les
méthodes connues de calcul de pertes de charge, on prend en compte les
données sur la géométrie du puits, les caractéristiques du fluide en
circulation et les conditions d'écoulement. Dans la plupart des modèles de
15 calculs, il est pris en compte une rhéologie plus ou moins représentative
de celle du fluide : modèles de Bingham, d'Ostwald, ou autres. Certains
tiennent également compte de l'influence de la rotation des tiges et/ou de
leur excentration dans le puits. Cependant, ces modèles de calculs ne
prennent pas en compte l'influence de la variation de température et/ou
20 de la pression sur la rhéologie du fluide, paramètre relativement
important sur le calcul des pertes de charge. Or, les conditions de

température et de pression dans un puits foré, offshore ou onshore sont excessivement variables ce qui induit actuellement des erreurs de calculs.

Ainsi, la présente invention concerne une méthode de calcul des
5 pertes de charge créées par un fluide dans un circuit ayant un profil thermique déterminé. On effectue les étapes suivantes :

- on constitue une base de données donnant la rhéologie de différents fluides au moins en fonction de la température,
- on segmente le profil thermique en tronçons et on détermine une
10 valeur de température représentative de celle du fluide dans le tronçon,
- on utilise la base de données pour déterminer la rhéologie du fluide dans chaque tronçon à ladite température représentative,
- on calcule et on additionne les pertes de charge dans chaque tronçon compte tenu de la rhéologie déterminée.

15 On peut segmenter le profil thermique pour un intervalle de température sensiblement constant.

On peut prendre la température moyenne du fluide dans chaque tronçon comme température représentative.

La base de données peut comprendre la rhéologie de fluides en
20 fonction de la pression.

On peut prendre en compte la pression moyenne du fluide dans chaque tronçon pour déterminer la rhéologie du fluide dans ledit tronçon.

On peut organiser la base de données en familles de fluides.

La base de données peut comprendre des lois de variation de la
5 rhéologie en fonction de la température et/ou en pression pour chaque famille de fluide.

L'invention concerne également un système pour le calcul de pertes de charge dans un circuit en mettant en œuvre la méthode décrite ci-dessus, le système comprenant des moyens de segmentation du profil
10 thermique le long du circuit, des moyens de gestion d'une base de données donnant la rhéologie de différents fluides en fonction de la température et/ou de la pression, des moyens de calcul des pertes de charge dans chaque tronçon.

La méthode est avantageusement appliquée au calcul des pertes de
15 charge dans un puits en forage.

La présente méthode est mise en œuvre pour prendre en compte l'influence, notamment, des effets thermiques sur la perte de charge au travers de la rhéologie du fluide. L'évolution de la température et de la
20 pression dans le puits modifie localement la viscosité de la boue et donc les pertes de charge engendrées. La précision de l'interprétation de la

valeur et des variations de la pression de refoulement mesurée à la surface du sol est grandement améliorée.

La présente invention sera mieux comprise et les avantages apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit des
5 exemples, nullement limitatifs, et illustrés par les figures ci-annexées, parmi lesquelles :

- les figures 1A, 1B et 1C illustrent le principe de la présente invention,
- les figures 2a et 2b montrent plus précisément la procédure de
10 segmentation,
- la figure 3 schématise le couplage avec une base de données,
- la figure 4 montre un exemple de profil thermique dans un puits onshore utilisé pour traiter un exemple,
- la figure 5 montre un exemple de profil thermique dans un
15 puits offshore.

La représentation des figures 1A, B et C résumant le principe de la méthode. La figure 1A donne le profil de la température (T en °C) en fonction de la profondeur (P en mètre). La courbe 1 donne la température
20 géostatique. A partir de cette donnée locale et des paramètres d'échange thermique dans le puits (λ acier, formation, fluide ; débit de fluide ;

géométrie, etc...) on détermine par un modèle thermique le profil de la température à l'intérieur des tiges (courbe référencée 2) et à l'extérieur (courbe référencée 3). On peut citer, par exemple, le logiciel « WELLCAT » (marque déposée) de la Société ENERTECH (USA) qui
5 permet de déterminer ce type de profil thermique dans un puits en cours de forage. Le profil thermique est ici découpé en tronçons 4, 5, 6, 7, selon la profondeur. On a représenté ici quatre tronçons dont les températures représentatives sont respectivement T1, T2, T3 et T4.

La figure 1B représente symboliquement une base de données sur
10 la rhéologie du fluide en circulation dans le puits. Pour chaque température T1, T2, T3 et T4, on associe un rhéogramme que l'on retrouve dans la base.

La figure 1C schématise la coupe du puits et les différents tronçons de circuits 4, 5, 6 et 7 auxquels correspondent les rhéogrammes
15 déterminés.

Les figures 2a et 2b décrivent plus précisément la méthode pour segmenter le profil thermique. La figure 2a est identique à la représentation de la figure 1A et montre la segmentation en quatre tronçons pour lesquels la température moyenne de chaque tronçon a été
20 choisie comme température représentative pour le tronçon considéré. La figure 2a est transformée en la représentation de la figure 2b où, dans

chaque tronçon, la température est considérée comme constante et égale à la température moyenne dans cette partie.

Le découpage en tronçon peut être fait automatiquement. C'est, de préférence, un découpage régulier en température et non en longueur. Le
5 profil thermique peut être coupé tous les 3°C par exemple, ou d'une manière plus précise, tous les 0,5°C. Ainsi, l'amplitude de température est la même dans chaque tronçon. L'utilisateur peut choisir en fonction des circonstances l'intervalle de segmentation.

La température et la pression dans chaque section permet de
10 déterminer la rhéologie correspondante par l'intermédiaire de la base de données boue. En première approximation, on peut choisir la pression hydrostatique moyenne pour chaque tronçon déterminé par l'intervalle de température choisi. L'effet de la température est généralement prépondérant par rapport à la pression en ce qui concerne la variation de
15 rhéologie du fluide de forage.

Le calcul de perte de charge se fait alors par tronçon, avec la rhéologie déterminée pour chaque tronçon, avant d'être sommé pour obtenir la perte de charge totale dans le circuit.

La figure 3 schématise le calcul et la détermination de la rhéologie
20 avec la base de données BD. La base de données a été réalisée à partir de familles de fluides de forage (MF) utilisés sur chantier. Elle comprend des

boues à base d'eau et des boues à base d'huile. Des mesures expérimentales ont été faites pour des températures comprises entre 20°C et 170°C, des variations de pression jusqu'à 400 bars et pour des masses volumiques variables (MW). Un rhéomètre Fann 70 (HP-HT) est
5 classiquement utilisé pour effectuer les mesures permettant de tracer les rhéogrammes.

A partir de la connaissance de la famille de fluide auquel appartient le fluide de forage considéré (MF), de sa masse volumique (MW), on recherche dans la base BD les données rhéologiques existantes,
10 correspondantes. Il est possible de déterminer des lois donnant la variation de la rhéologie par famille, ou sous famille, de fluide, que ce soit en fonction du paramètre masse volumique, pression ou température. L'existence de telles lois simplifiera le calcul dans le module de calcul de perte de charge.

15 Le calcul des pertes de charge peut donc ainsi être réalisé à l'aide d'une rhéologie du fluide proche de la réalité. Un bouclage sur la valeur de la pression est possible pour affiner le calcul. En effet, si l'on a pris initialement une valeur simplifiée de pression, par exemple, la pression hydrostatique moyenne du tronçon, le modèle de calcul peut recalculer
20 plus précisément la pression moyenne, prenant en compte la pression

statique et dynamique, qui sera prise en compte pour la recherche dans la base de données.

Il est clair que la segmentation du profil thermique, telle que décrite plus haut, peut se faire de façon indépendante entre le circuit
5 intérieur et le circuit annulaire. L'invention n'est pas limitée à une découpe en tronçons identiques de même cote pour le circuit intérieur tiges et le circuit annulaire.

Exemple :

10 Un puits test onshore de profondeur 4000m est simulé dans un logiciel de calcul thermique permettant d'obtenir le profil de température au bout d'une demi-heure de forage, à partir de l'équilibre de la température du fluide avec la température de la formation. La figure 4 donne ce profil de température T en °C en fonction de la profondeur en
15 mètre (abscisse). La courbe 8 donne la température du fluide dans les tiges en fonction de la profondeur. La courbe 9 donne la température du fluide dans l'annulaire.

Le circuit est ici constitué par :

- un trou tubé par un casing 13"3/8 (diamètre intérieur : 323 mm),
20 longueur de 3000 m,

- un trou de diamètre 12,25 inches (311,15 mm) de 1000 mètres de long,
- tiges 5"-Grade G, longueur 3820 m,
- masses-tiges 8"(OD=203,2 mm ; ID=72 mm), longueur 180 m.

5 Si le calcul de la somme des pertes de charge Δp est effectué sans prendre en compte les effets thermiques (c'est à dire à température constante égale à la température de surface), dans le cas d'une boue à l'eau et d'une boue à l'huile, les résultats obtenus sont les suivants :

Boue à l'eau bentonitique F1 : $\Delta p=133,5$ bars

10 Boue à l'huile O1: $\Delta p=223,5$ bars

Compte tenu du profil thermique découpé en 23 sections de 4°C d'amplitude (on a vérifié qu'après 23 sections les résultats sont identiques), et l'utilisation de la base de donnée de la rhéologie en température et pression (pression hydrostatique moyenne dans le tronçon

15 considéré) les résultats sont :

Boue à l'eau bentonitique F1 : $\Delta p=128,7$ bars (écart :4,8 bars
 $\approx 4\%$)

Boue à l'huile O1: $\Delta p=195,8$ bars (écart :27,7 bars
 $\approx 12\%$)

Un puits test offshore de profondeur 4000m est simulé dans un logiciel de calcul thermique permettant d'obtenir le profil de température au bout de 5 heures de forage, à partir de l'équilibre de la température du fluide avec la température de la formation. La figure 5 donne ce profil de température T en °C en fonction de la profondeur en mètre (abscisse). Les courbes 10 et 11 donnent la température du fluide en fonction de la profondeur respectivement à l'intérieur des tiges et dans l'annulaire. L'effet de refroidissement du riser de forage à travers d'une tranche d'eau de 2000 m est très sensible. Le circuit en exemple est exactement le même que celui de l'exemple précédent, si ce n'est qu'il y a une tranche d'eau de 2000 m, le forage dans le sol ne faisant alors que 2000 m.

Compte tenu du profil thermique découpé en 23 sections de 0,5°C d'amplitude, les résultats obtenus sont les suivants:

Boue à l'eau bentonitique F1 : $\Delta p = 131,3$ bars (écart : 2,2 bars
15 $\approx 1,5\%$)
Boue à l'huile O1: $\Delta p = 216,2$ bars (écart : 7,3 bars
 $\approx 3,5\%$)

Les écarts sont moindres dans cet exemple car la variation de température est beaucoup plus faible.

20 Ces exemples montrent que les effets thermiques et de pression qui modifient la rhéologie du fluide en circulation correspondent dans

certain cas critiques à environ 5 à 10% de la somme des pertes de charge. La présente invention permet notamment d'augmenter d'autant la précision du calcul, ce qui peut autoriser des comparaisons pertinentes entre la valeur calculée et la valeur mesurée de la pression de

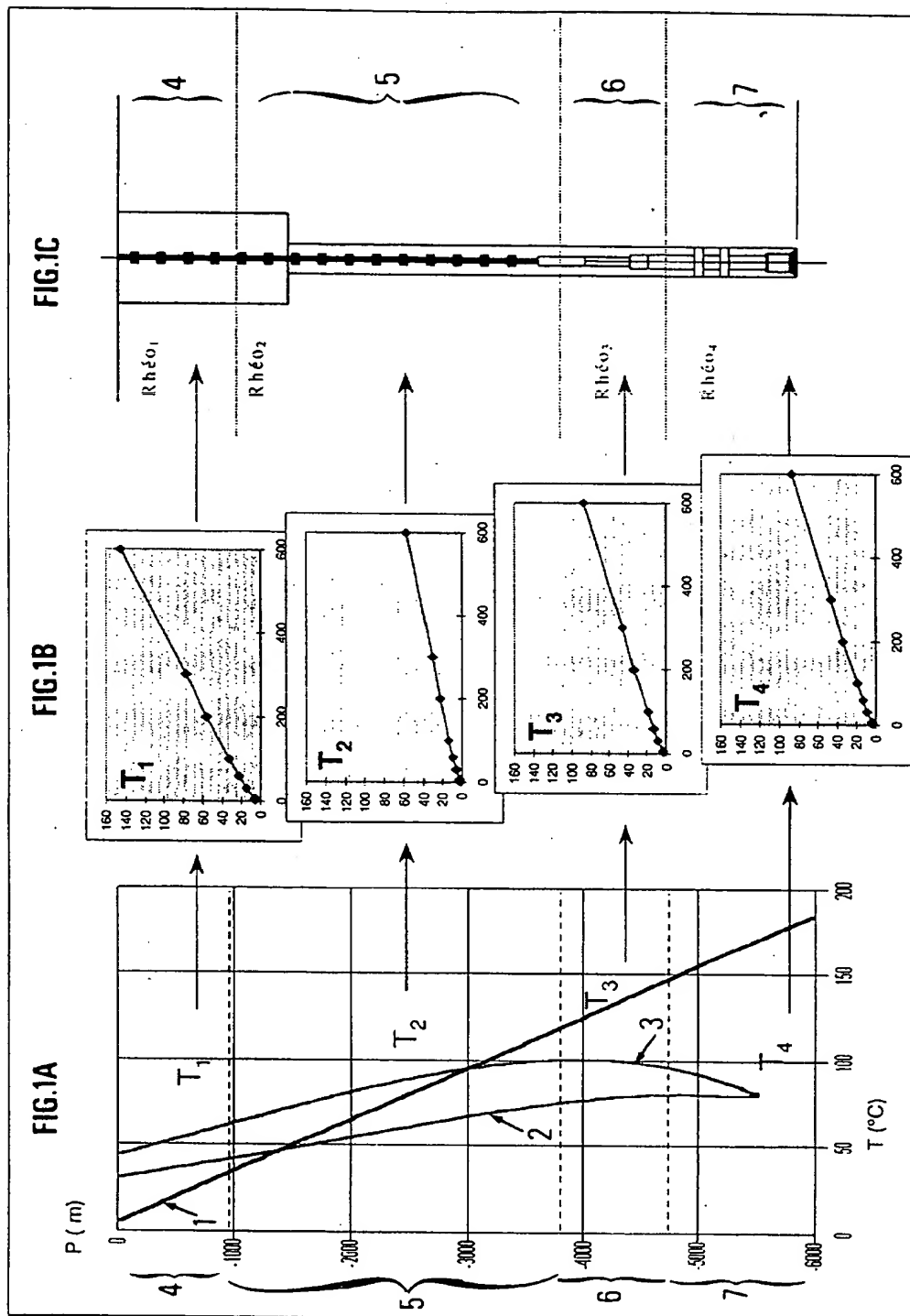
5 refoulement.

REVENDICATIONS

1. Méthode de calcul des pertes de charge créées par un fluide dans un circuit ayant un profil thermique déterminé,
5 caractérisée en ce que l'on effectue les étapes suivantes :
 - on constitue une base de données (BD) donnant la rhéologie de différents fluides au moins en fonction de la température,
 - on segmente ledit profil thermique (2, 3) en tronçons (4, 5, 6, 7) et on détermine une valeur de température (T1, T2, T3, T4)
10 représentative de celle du fluide dans ledit tronçon,
 - on utilise la base de données pour déterminer la rhéologie du fluide dans chaque tronçon à ladite température représentative,
 - on calcule et on additionne les pertes de charge dans chaque tronçon compte tenu de la rhéologie déterminée.
- 15 2. Méthode selon la revendication 1, dans laquelle on segmente le profil thermique pour un intervalle de température sensiblement constant.
3. Méthode selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle on prend
20 la température moyenne du fluide dans chaque tronçon comme température représentative.

4. Méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle ladite base de données comprend la rhéologie de fluides en fonction de la pression.
5. Méthode selon la revendication 4, dans laquelle on prend en compte la pression moyenne du fluide dans chaque tronçon pour déterminer la rhéologie du fluide dans ledit tronçon.
6. Méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle on organise ladite base de données en familles de fluides.
- 10 7. Méthode selon la revendication 6, dans laquelle la base de données comprend des lois de variation de la rhéologie en fonction de la température et/ou en pression pour chaque famille de fluide.
- 15 8. Système pour le calcul de pertes de charge dans un circuit, comprenant des moyens de segmentation du profil thermique le long du circuit, des moyens de gestion d'une base de données donnant la rhéologie de différents fluides en fonction de la température et/ou de la pression, des moyens de calcul des pertes de charge dans chaque tronçon, caractérisé en ce qu'il
- 20 met en œuvre la méthode selon les revendications 1 à 7.

9. Application de la méthode selon l'une des revendications 1 à 7
au calcul des pertes de charge dans un puits en forage.



2/3

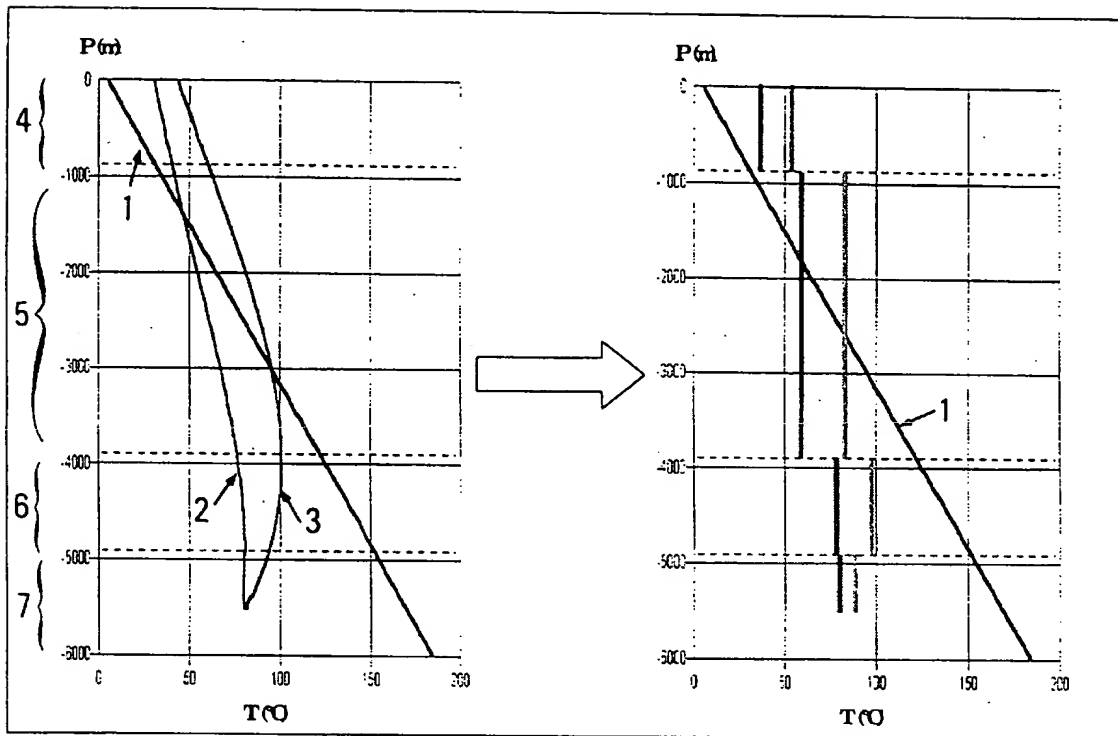


Figure 2a

Figure 2b

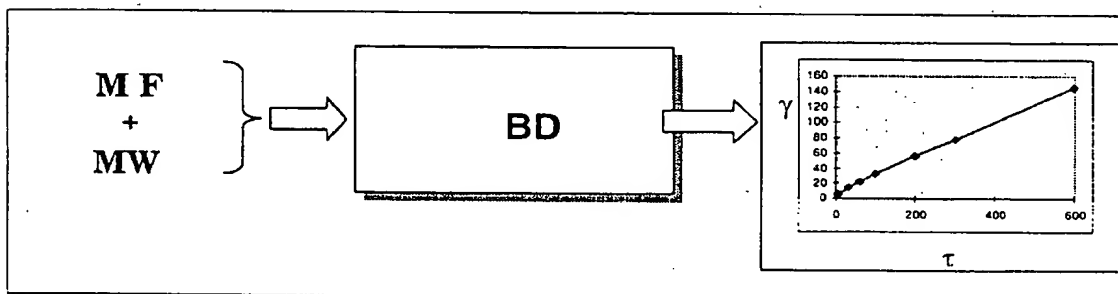


Figure 3

3/3

T (°C)

FIG. 4

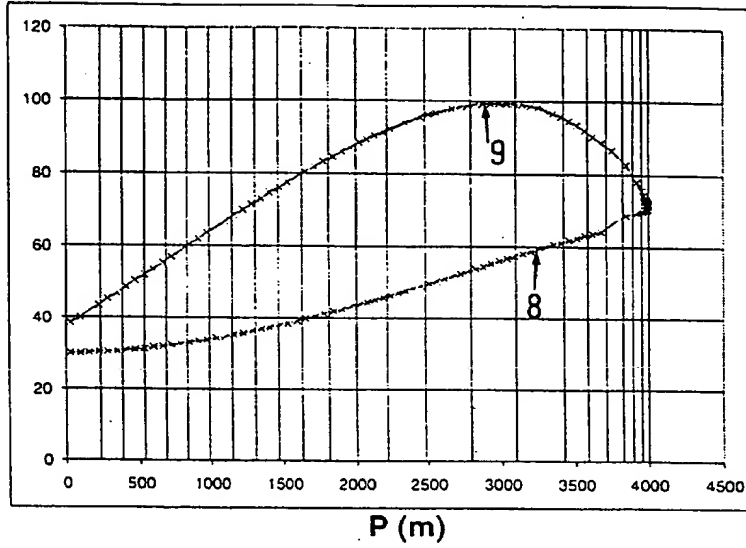
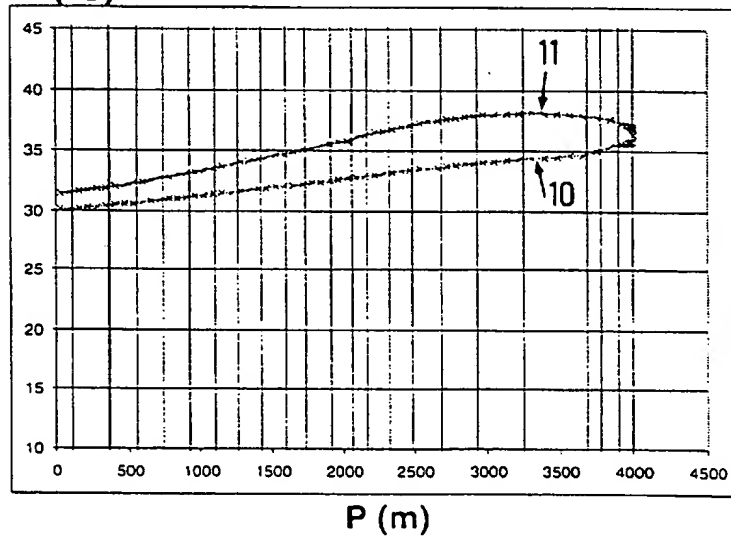


FIG. 5

T (°C)





RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

2801996

N° d'enregistrement
nationalFA 586582
FR 9915507

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	FR 2 723 141 A (ELF AQUITAINE) 2 février 1996 (1996-02-02) * page 2, ligne 18 - page 3, ligne 13 *	1-9	G06F19/00
A	US 4 821 564 A (PEARSON C M ET AL) 18 avril 1989 (1989-04-18) * colonne 2, ligne 65 - colonne 3, ligne 27 *	1-9	
A	WO 94 25732 A (MAERSK OLIE & GAS ;HANSEN JENS HENRIK (DK)) 10 novembre 1994 (1994-11-10) * page 7, ligne 30 - page 8, ligne 15 *	1-9	
A	KARSTAD E ET AL: "TEMPERATURE MODEL PROVIDES INFORMATION FOR WELL CONTROL" OIL AND GAS JOURNAL,US,PENNWELL PUBLISHING CO. TULSA, vol. 96, no. 37, 14 septembre 1998 (1998-09-14), pages 76-80,83-84, XP000833515 ISSN: 0030-1388 * le document en entier *	1-9	
A	SAS-JAWORSKY A ET AL: "PREDICTING FRICTION PRESSURE LOSSES IN COILED TUBING OPERATIONS" WORLD OIL,US,GULF PUBLISHING CO. HOUSTON, vol. 218, no. 9, 1 septembre 1997 (1997-09-01), pages 141-144,146, XP000723217 ISSN: 0043-8790 * le document en entier *	1-9	<div>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)</div> <div>E21B</div>
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
3 octobre 2000		Garrido Garcia, M	
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document Intercaire			